

Министерство образования и науки Российской Федерации

УДК
ГРНТИ
Инв. №

УТВЕРЖДЕНО:

Исполнитель:
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования «Уральский
федеральный университет имени первого
Президента России Б.Н.Ельцина»

От имени Руководителя организации

_____/_____
М.П.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ

о выполнении 2 этапа Государственного контракта

№ П826 от 17 августа 2009 г. и Дополнению от 02 апреля 2010 г. № 1/П826, Дополнению от
28 июля 2010 г. № 2

Исполнитель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования «Уральский федеральный университет имени
первого Президента России Б.Н.Ельцина»

Программа (мероприятие): Федеральная целевая программа «Научные и научно-
педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг., в рамках реализации
мероприятия № 1.3.2 Проведение научных исследований целевыми аспирантами.

Проект: Комплексная оценка фитоценозов территорий промышленных отвалов для
целей биологической рекультивации

Руководитель проекта:

_____/Раков Евгений Александрович
(подпись)

Екатеринбург
2010 г.

Содержание

Введение	3
Аннотированная справка по результатам работ на первом этапе работ Гос. Контракта №П826 от 17.08.2009	5
Результаты работ	
Химический состав золы углей	7
Ценопопуляционные исследования пионерных злаков	10
Микосимбиотрофические исследования	18
Восстановление биоразнообразия на золоотвалах НТГРЭС	21
Рекомендации по осуществлению рекультивационных мероприятий территорий месторождений и промышленных отвалов	31
Заключение	33
Список литературы	34

Введение

Большая часть населения Земли уже в настоящее время живет в окружении «техногенных ландшафтов», где особое место по своему отрицательному воздействию на естественные природные комплексы (и на здоровье человека в том числе) занимают так называемые промышленные отвалы и другие типы нарушенных земель. В Свердловской области они концентрируются в окрестностях большинства населенных пунктов и всех крупных городов на площади свыше 63.3 тыс.га (Чайкина, Объедкова, 2003). Эти территории первоначально лишены почвенного и растительного покровов. Процесс освоения их растениями начинается с нулевого старт-момента, т.к. субстрат экологически своеобразен и лишен запаса (банка) семян (жизнеспособных диаспор) (Раков, Чибрик, 2009).

Цель работы: провести комплексное исследование автотрофного компонента фитоценозов на территориях промышленных отвалов (на примере золоотвалов) в Свердловской области.

Задачи на втором этапе работ по Государственному контракту № П826:

- Обзор информационных источников по тематике проблемы
- Камеральная обработка материала полевых сборов. Характеристика золы углей как субстрата для выращивания растений. Описание ценопопуляций видов пионеров, существующих на первых этапах существования промышленных отвалов. Определение микосимбиотрофических характеристик выбранных растений.
- Сравнение результатов анализа научно-информационных источников и полученных экспериментальных данных. Подготовка публикаций результатов исследований.

Методы при выполнении отдельных работ: Составление аналитического обзора по тематике проблемы; при осуществлении полевых работ использовались

методы по выбранным видам работ: общепринятые методики геоботанических исследований: сбор растений для гербария, составление геоботанических описаний; при сборе образцов корней для исследования микосимбиотрофизма использовалась методика, разработанная Селивановым: сбор тонких корневых окончаний с растения каждого вида в пяти повторностях, мацерация корней в растворе КОН, окраска в растворе анилиновой сини, фиксация в растворе молочной кислоты; сбор образцов субстрата производился из прикопок с трех горизонтов (1-2 см, 2-7 см, 7-20 см), затем образцы высушивались; растительные образцы после определения вида так же изымались и разделялись на фракции для анализа в лабораторных условиях.

Инструментарий, использованный при выполнении отдельных видов работ:

При обзоре научных информационных источников по тематике проблемы, при сборе полевых данных, при использовались ресурсы научной библиотеки УрГУ им. А.М. Горького, Электронные научные библиотеки, поисковые ресурсы Интернета, Компьютеры, оснащенные выходом в Интернет (сеть УрГУ), с лицензионным программным обеспечением. Приборы и оборудование, находящееся в распоряжении кафедры экологии УрГУ им. А.М. Горького:

Весы электронные аналитические AUX-320;

Микроскоп Leica CTR 5000;

Фотометр пламенный PER-7;

Спектрофотометр двухлучевой сканирующий Multispect UV-1650

АННОТИРОВАННАЯ СПРАВКА

о работах первого этапа Гос. Контракта №П826 от 17 августа 2009

На первом этапе В рамках проведения первого этапа НИР «Комплексная оценка фитоценозов территорий промышленных отвалов для целей биологической рекультивации» (по Гос. Контракту №П826 от 17 августа 2009 г.) были проведены исследования согласно намеченным положениям, указанным в приложении №1 к Гос. контракту. Фактически было осуществлено: составление аналитического обзора, проведение полевых работ, сбор полевого материала для дальнейшей обработки в условиях лаборатории (первичное обследование выбранных территорий. Выбор минимальных учётных единиц для геоботанических описаний. Проведение флористических описаний. Сбор материала для исследования в лабораторных условиях: отбор образцов для ценопопуляционных исследований, приготовление образцов для микосимбиотрофических исследований, отбор субстрата для его последующей агрохимической характеристики, взятие комплексных проб для исследования системы «субстрат-растение». При наличии древесных массивов проведение изучения структуры и качества древостоя), составление био-экологической характеристики фитоценозов выбранных территорий.

По итогам полевых работ было собрано 120 листов гербария высших растений, сделаны геоботанические описания фитоценозов золоотвалов, собраны корни растительных организмов для исследования микотрофности, выделены образцы зольного субстрата (15 образцов из 5 прикопок) для агрохимического анализа, собраны растительные образцы по фракциям для анализа системы «субстрат–растение».

В результате работ по первому этапу составлена био-экологическая характеристика фитоценозов выбранных территорий и подготовлен материал для дальнейшего исследования в условиях лаборатории (высушены образцы

субстрата, и корневые окончания растений). Аналитический обзор по выбранному направлению охватывает 17 источников (в том числе 9 англоязычных).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Химический состав золы углей

Химический состав. По валовому химическому составу зола углей в общих чертах соответствует алюмосиликатным образованиям. Содержание SiO_2 в золе различных углей изменяется от 40,5 до 50,3 %, что равно ее содержанию в обыкновенном черноземе; Al_2O_3 – от 12,9 до 32,4 и Fe_2O_3 – от 5,5 до 17,7 %, что в 1,4–2,1 раза превышает содержание этих элементов в черноземе. Величина потери от прокаливания колеблется от 0,3 до 10,9 % в зависимости от количества в золе несожженной угольной пыли и карбонатов.

Анализ на содержание подвижных элементов питания растений показал, что в золе углей практически отсутствует азот. В золе углей нет и органического вещества, на что указывает так же ряд авторов (Сигалов, 1958, 1970; Пикалова, 1968; Хамидулина, 1964, 1970; Колесников, Пикалова и др., 1970 и др.). Частицы несгоревшей угольной пыли (потенциальный гумус) имеющиеся в золе тесно связаны с силикатами золы и, подвергаясь медленным физико-химическим и биохимическим превращениям, играют малую роль в формировании плодородия золы (Панин, Ковалев, 1970).

Содержание подвижного фосфора (P_2O_5) в золе как бурых, так и каменных углей колеблется от слабого до хорошего, а в отдельных случаях до высокого обеспечения растений. Подвижного калия (K_2O) содержится от 1,6 до 25 мг/100г золы, что по существующим грациям обеспечения калием следует считать недостаточным для обеспечения растений.

Суммарное содержание обменных катионов кальция и магния колеблется от 5,5 до 42 мг-экв/100 г субстрата, причем зола бурых углей содержит обменных катионов больше, чем зола каменных. В целом, зола углей обладает небольшой емкостью поглощения, аналогичной легким почвам, что объясняется ее

обедненностью высокодисперсным органическим веществом и илистыми частицами. Поглотительная способность верхних слоев толщи золоотвалов может быть увеличена посредством нанесения на поверхность золы торфа, почвы, почвогрунта, внесения минеральных удобрений, полива сточными водами, что и было подтверждено В. П. Фирсовой, Г. А. Кулай (1966) и П. С. Паниным, Р. В. Ковалевым (1970).

Реакция среды (рН) золы углей колеблется от 5,9 до 8,5, то есть от слабокислой до щелочной. Зола углей- субстрат незасоленный. Сумма солей (плотный остаток) в верхних слоях (0–20 см) колеблется от 0,036 до 0,271 %.

Спектральный анализ показал присутствие в золе углей до 30 различных макро- и микроэлементов, многие из которых жизненно необходимы для растений (Ca, Ba, Mn, Fe). Кроме того, в золе углей содержатся редкие элементы (Ga, Sc, Ti, Sr, Zr), что указывает на возможность использования ее в отдельных случаях в качестве вторичного сырья для извлечения этих элементов (Тарчевский, 1964; Комар, 1969).

Анализ растений с золоотвала Нижнетуриной ГРЭС на содержание Fe и Al показал, что повышение концентрации этих элементов в большей степени характерно для корневых систем, а не для надземных частей растений, причем накопление не сопровождалось морфологическим изменением растений (Тарчевский, Дробиз, 1969).

Водно-физические свойства золы углей довольно своеобразны. Удельный вес твердой фазы золы равен 2,1–2,9 г/см³, а в черноземах – 2,6–2,7 г/см³. Объемный же вес из-за рыхлого сложения аккумуляций низкий и колеблется от 0,7 до 1 г/см³, что близко к объемному весу гумусового горизонта черноземов (0,8–1,2), но ниже минеральных горизонтов его – 1,6 г/см³ (Панин, Ковалев, 1970).

Водный режим золоотвалов во многом зависит от зонально-географического положения их. Так, например, во влажной таежной зоне, где осадков выпадает 500–600 мм в год (районы расположения золоотвалов

Березниковской ТЭЦ, Нижнетуринской, Серовской и Южно-Кузбасской ГРЭС), полевая влажность в вегетационный период колебалась в годы наблюдений от 4 до 37 % в слое 0–5 см и 20–45 % в слое 20–40 см; в лесостепной же зоне, где осадков выпадает до 350 мм в год (районы расположения Южно-Уральской ГРЭС, Красногорской ТЭЦ), эти величины изменялись от 0,4–25 % до 17–30 % соответственно по слоям. Атмосферные осадки полностью поглощаются золой, пополняя внутренние запасы влаги в толще золоотвалов.

Зольные отложения из-за незначительного содержания тонкодисперсных коллоидных фракций обладают низкой гигроскопичностью. Максимальная гигроскопичность колеблется от 3 до 7 %, а влажность завядания – от 4,5 до 10,5 % к весу золы.

Изучение водопроницаемости золы бурых и каменных углей с золоотвалов Нижнетуринской и Южно-Кузбасской ГРЭС в лабораторных условиях показало, что при поступлении воды на сухую поверхность интенсивность фильтрации высокая, так как происходит заполнение влагой порового пространства золы, первоначально не насыщенного водой. По мере заполнения пор водопроницаемость уменьшается. В среднем водопроницаемость золы, в зависимости от ее механического состава, колеблется от 93 до 120 мм/час, а объем впитанной воды в единицу времени – от 46,2 до 78 см³/час соответственно для субстратов, классифицируемых по физическим свойствам как суглинистые и супесчаные. Для золоотвала Новосибирской ТЭЦ скорость фильтрации воды в полевых условиях через 30-сантиметровый слой золы после часа наблюдений составила 1 мм/мин (Панин, Ковалев, 1970). Сравнивая водопроницаемость золы со шкалой оценки водопроницаемости почв, можно отметить, что зола углей обладает водопроницаемостью от значительной до средней.

ЦЕНОПОПУЛЯЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПИОНЕРНЫХ ЗЛАКОВ

Ценопопуляции Щучки дернистой, Вейника наземного и бескильницы Гаупта были выбраны из-за того, что они играют особую роль в формировании сообществ растений на первых этапах зарастания золоотвалов тепловых электростанций. Щучка дернистая (*Decshampsia cespitosa* (L) Beauv.) – это злак, который характеризуется тем, что во время этапа экотопического отбора оказывает большое влияние на растительность вокруг себя. Это проявляется в основном во время стадии так называемого «кольца» (молодые генеративные особи – g1). Выделяемые растением биологически активные вещества негативно влияют на растения других видов – это в том числе следствие проявления фитогенного поля. Если учесть тот факт, что в условиях золоотвала на растительные организмы действует много негативных факторов окружающей среды (бедность субстрата элементами питания, непостоянство водно-физических свойств), то влияние щучки в этом случае оказывается важным фактором в некотором отборе видов для формирования парциальной флоры. Кроме того на начальных этапах зарастания золоотвалов щучка формирует фитомассу – материал для обогащения субстрата органическими веществами. Если ценопопуляция Щучки дернистой успешно самовоспроизводится в условиях золоотвала, значит имеет смысл говорить о недостаточной сформированности условий для дальнейшего развития экосистемы. В том случае когда видно, что ценопопуляция щучки самовырождается, то это результат влияния видов, которые могут играть роль доминантов и содоминантов при дальнейшем развитии экосистем. После злаков эта роль отдаётся, в основном, семейству Сложноцветных. Это молодое (в эволюционном смысле) семейство формирует большую часть фитомассы. В данном случае система развивается как луговое сообщество.

Бескильница Гаупта (*Puccinellia hauptiana* V. Krecz.) так же может представлять собой своеобразный индикатор условий золоотвала (в том числе

стадии формирования экосистемы на ранних этапах зарастания золоотвала). Дело в том, что бескильница – это типичный галофит. Зольный субстрат шламохранилищ тепловых электростанций часто бывает засолен и ценопопуляции бескильницы произрастают практически на голой золе. Однако, этот вид уязвим по отношению к доминантам (например к той же щучке) – совершенно не выносит фитоценотического прессинга. Следовательно при изучении ценопопуляции бескильницы нужно обратить внимание на тот факт, что при успешном самовоспроизводстве этой популяции свойства субстрата далеки от пригодных для произрастания большинства растений-мезофитов. Когда же появляется тенденция к элиминированию бескильницы, можно говорить о том, что в составе фитоценоза появились виды, способные существовать на субстрате и осуществлять фитоценотический прессинг. Кроме того, фитомасса бескильницы образует органическое вещество на самых первых этапах развития экосистем.

Вейник наземный (*Calamagrostis epigejos* (L.) Roth.) представляет собой мезофитный многолетний вегетативноподвижный злак. Имеет достаточно широкий экологический спектр – произрастает в широком диапазоне условий окружающей среды. На золоотвалах вейник способен образовывать достаточно сложные взаимодействия с другими растениями и играть роль доминанта.

Возрастные спектры щучки дернистой представляют собой одновершинные распределения с максимумом в области генеративных особей.

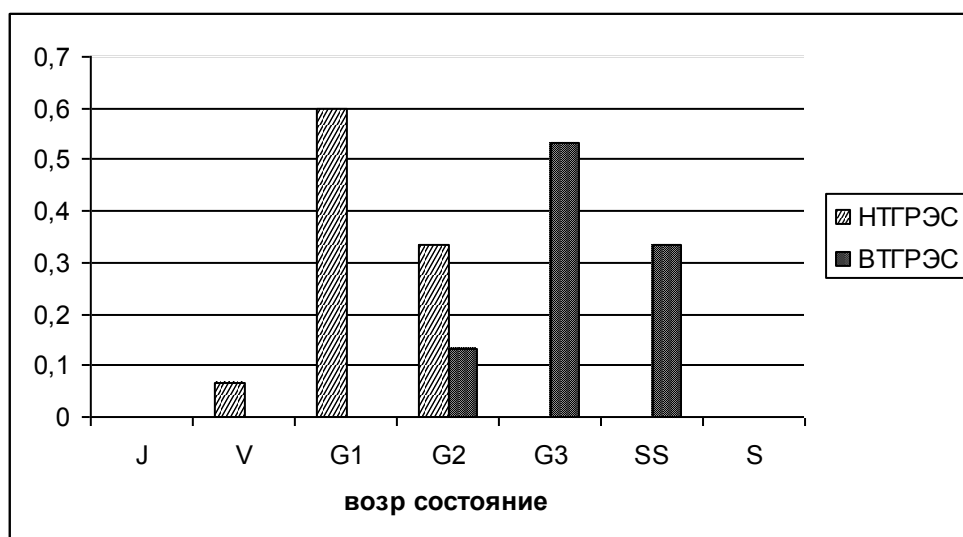


Рис.1. Возрастные спектры щучки дернистой на золоотвалах
 Нижнетуриной и Верхнетагильской ГРЭС

J – ювенильные особи, V – виргинильные особи, G1, G2, G3 – генеративные особи, SS – субсенильные особи, S – сенильные особи

Однако необходимо заметить, что максимум расположен в области молодых генеративных особей (G1) у популяции щучки с отвала НТГРЭС и в области старых генеративных особей (G3) у ценопопуляции щучки с золоотвала ВТГРЭС (рис. 1). Шламохранилище ВТГРЭС имеет больший возраст, чем отвал НТГРЭС. Это отражается в возрастной структуре ценопопуляции щучки. Обе ценопопуляции характеризуются как нормальные, неполночленные (по Работнов, 1983; Уранов, 1975). Кроме того, нужно заметить, что на золоотвале ВТГРЭС достаточно высока доля субсенильных особей, в то время как у популяции щучки с НТГРЭС субсенильных особей не обнаружено.

При описании морфологических характеристик ценопопуляций щучки дернистой с золоотвалов НТГРЭС и ВТГРЭС необходимо заметить, что сравнивались такие параметры как длина генеративных побегов и длина метёлки (у генеративных побегов).

Сравнительный анализ морфологических характеристик (табл. 1) показал, что между ценопопуляциями золоотвалов НТГРЭС и ВТГРЭС существенных, достоверных различий не обнаружено. В пользу этого говорят и низкие значения критерия, и недостаточный уровень значимости критерия.

Таблица.1. Морфологические характеристики щучки дернистой
 ценопопуляций золоотвалов НТГРЭС и ВТГРЭС

Показатель	Золоотвал		Значение критерия ($df=1$) N=24	Уровень значимости p
	Золоотвал ВТГРЭС	Золоотвал НТГРЭС		

Длина генеративных особей, см	53.53±6.28	59.71±5.59	0,99	> 0.05
Длина метёлки, см	12.16±1.24	13.45±1.23	0.31	> 0.05

Ценопопуляционный анализ щучки дернистой дополнился изучением характеристик микотрофности этих двух ценопопуляций (табл.2). Проанализированы частота встречаемости микоризы (F), степень микотрофности (D), интенсивность микоризной инфекции (C) (Табл.). Стоит отметить, что различия между показателями имеют достаточный уровень значимости критерия. Золоотвал №3 НТГРЭС имеет более высокие показатели микотрофности ценопопуляции щучки дернистой, возможно из-за несформированности почвенных условий – растения вынуждены прибегать к дополнительным источникам питательных веществ.

Таблица 2. Показатели микотрофности щучки дернистой на золоотвале №3 НТГРЭС и золоотвале ВТГРЭС

Показатель	Золоотвал ВТГРЭС	Золоотвал НТГРЭС	Критерий Краскелла-Уолеса (df=1, N=20)
Частота встречаемости (F), %	20,8±2,63	35,9±2,6	9,62*
Степень микотрофности (D)	0,28±0,04	0,48±0,04	6,61*
Интенсивность микоризной инфекции (C), %	14,35±1,62	35,1±1,64	14,33*

* - достаточный уровень значимости критерия ($p < 0,05$)

Спектр возрастных состояний бескильницы Гаупта представляет собой одновершинное распределение с максимумом в области генеративных особей.

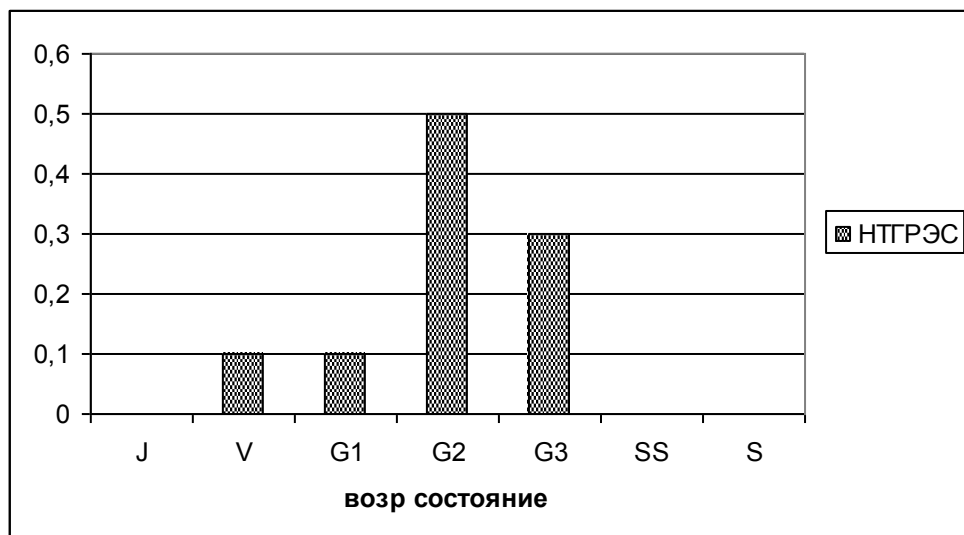


Рис. 2. Возрастной спектр бескильницы Гаупта на золоотвале №3
Нижнетуринской ГРЭС

J – ювенильные особи, V – виргинильные особи, G1, G2, G3 – генеративные особи, SS – субсенильные особи, S – сенильные особи

При анализе ценопопуляции бескильницы Гаупта с золоотвала НТГРЭС были получены следующие результаты: на рисунке 2 показан возрастной спектр бескильницы Гаупта на золоотвале НТГРЭС. Максимум расположен в области средневозрастных генеративных особей (G2). Надо полагать, что золоотвал №3 НТГРЭС находится на ещё ранней стадии формирования растительного покрова – на территории нет сплошного покрытия субстрата растениями и особенность бескильницы как галофита позволяет ей существовать в таких условиях. Популяция характеризуется как нормальная, неполночленная (по Работнов, 1983; Уранов, 1975).

Вейник наземный характеризуется как вегетативно подвижный, длиннокорневищный злак. При учёте различных параметров его ценопопуляции на золоотвалах НТГРЭС в качестве учётной единицы брался парциальный побег

(Ценопопуляции растений, 1976). В данном случае анализировались генеративные и вегетативные ценобионты.

Таблица 3. Численность ценобионтов (на 1 м²) вейника наземного в изученных популяциях золоотвалов НТГРЭС

Местообитание	Генеративные	Вегетативные	Общее число		% генеративных
			lim	x _{ср}	
Золоотвал №1	26	30	40-64	55	47
Золоотвал №2	32	33	36-92	65	49
Золоотвал №3	13	36	40-56	49	27

Полученные в ходе исследования данные говорят о том, что ценобионты вейника наземного в исследованных фитоценозах произрастают равномерно (коэффициент встречаемости 100%). Причина такого распределения – биологические особенности вида, способность особей за счёт корневищ распространяться по территории.

О плотности ценопопуляций можно судить по количеству ценобионтов на 1 м² (табл. 3) и соотношению вегетативных и генеративных парциальных побегов. Количество вегетативных побегов увеличивается к золоотвалу №3 – на данной территории отсутствует сплошной растительный покров и происходит расселение вегетативно-подвижных видов. Преобладание вегетативного размножения подтверждается и самым малым количеством генеративных ценобионтов в структуре ценопопуляции. На золоотвалах №1 и №2 наблюдаются небольшие различия в количестве ценобионтов вейника на единицу площади – это может объясняться тем, что отвалы имеют больший возраст и на них имеется покрытие почвогрунтом: в более зрелых фитоценозах возрастают конкурентные

взаимодействия между растениями, процент генеративных побегов выше (до 49% на золоотвале №2).

Вертикальная структура ценопопуляции рассматривалась как вертикальная неоднородность (ярусность). Она связана с размерами и возрастным состоянием растений. На золоотвалах НТГРЭС выделяются два яруса в структуре травостоя: первый ярус образуют генеративные ценобионты высотой 99-110 см (золоотвал №1), 107-124 см (на отвале №2), 127-137 см (на отвале №3); второй ярус составляют вегетативные побеги высотой 41-53 см (золоотвал №1), 55-69 см (на отвале №2), 34-42 см (на отвале №3).

Оценивая изменения морфологических характеристик ценобионтов вейника наземного, следует сказать, что с увеличением возраста золоотвала параметры побегов (как вегетативных, так и генеративных) изменяются неодинаково (табл. 2). Для группы параметров наблюдается уменьшение значений с увеличением возраста золоотвала – это высота генеративных побегов, вес генеративных побегов, длина предфлажья генеративных побегов. Другая группа параметров, напротив, проявляет увеличение с возрастом золоотвала – это количество живых листьев генеративных и вегетативных побегов. Остальные показатели не проявляют тенденцию к чёткому увеличению или уменьшению. Необходимо заметить, что изменения 10-ти из 11-ти показателей отмечены достаточно высоким уровнем значимости критерия (табл. 4).

Необходимо заметить, что при оценке корреляций между параметрами вегетативных ценобионтов вейника на золоотвалах НТГРЭС, наблюдается разная картина. На золоотвалах №1 и №2 (45 и 35 лет соответственно) длина особи коррелирует с количеством листьев и весом особи – коэффициенты корреляции выше 0,4 ($p < 0.05$). Но на золоотвале №3 (15 лет) у параметров вегетативных ценобионтов нет значимых корреляций.

Показатель	Значение показателя			Значение критерия Краскела-Уолеса (df=2)
	Золоотвал №1 (45 лет)	Золоотвал №2 (35 лет)	Золоотвал №3 (15 лет)	
Генеративные парциальные побеги				
Высота побега, см	101.55±1.81	115.28±1.46	131.47±1.67	73.46*
Длина метёлки, см	14.70±0.41	15.55±0.18	12.40±0.31	54.04*
Количество живых листьев	4±0.14	3,5±0.09	3±0.12	23.34*
Вес побега, г	2.41±0.11	4.94±0.08	5.78±0.06	129.03*
Вес соцветия, г	0.443±0.029	0.447±0.021	0.401±0.051	3.63
Количество узлов на удлинённой части побега	3.28±0.06	3.08±0.04	3.88±0.06	60.94*
Длина предфлажья, см	20.16±0.32	21.57±0.16	32.07±0.33	87.52*
Ширина предфлажья, мм	6.23±0.11	6.87±0.08	5.53±0.13	51.29*
Вегетативные парциальные побеги				
Длина побега, см	46.86±1.11	60.46±1.45	37.85±0.58	111.81*
Вес побега, г	0.38±0.03	1.52±0.09	0.15±0.005	178.88*
Количество листьев	3.62±0.14	3.54±0.09	2.99±0.07	27.87*

Примечание: * – достаточный уровень значимости критерия ($p < 0.05$)

МИКОСИМБИОТРОФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Одним из показателей формирования функциональных связей в формирующихся на золоотвалах растительных сообществах является наличие консортивных связей высших растений с грибами – явление микоризы, увеличивающее полноту биогеоценоза и, следовательно, его устойчивость (Махнев, Чибрик, Трубина и др., 2002).

Микориза имеет большое значение, как для самого высшего растения, так и для всего сообщества в целом. Известно, что микоризные грибы, увеличивая адсорбционную поверхность корня, участвуют в поглощении питательных веществ из почвы, влияют на интенсивность фотосинтеза (Селиванов, 1981; Сентябова, 1987). Микоризный симбиоз служит одним из главных каналов, по которым осуществляется круговорот фосфора в природе, наиболее важную роль микориза играет в водном режиме растений при недостатке влаги в почве (Селиванов, 1975, 1981). Вопросы изучения микосимбиотрофизма особенно важны при биологической рекультивации промышленных отвалов, так как ее конечной целью является создание устойчивых и достаточно продуктивных биогеоценозов, а при дефиците доступных для растений питательных веществ, неблагоприятных физико-химических условиях грунта наличие микоризы является важным фактором приспособления растений к специфическим условиям (Лукина, 1997).

Ведущая роль водно-воздушного режима почвы проявляется только при сбалансированном и относительно низком содержании питательных веществ, особенно фосфора и азота. Наибольшее развитие микоризы наблюдается в условиях умеренного увлажнения и достаточной аэрации (Крюгер, Селиванов, 1968) и при умеренных концентрациях питательных веществ в почве, доступных высшему растению (Бурова, 1987; Катенин, 1972). Высокое содержание элементов минерального питания, особенно азота и фосфора, подавляет процесс микоризообразования (Бурова, 1987; Катенин, 1972; Голубинская, 1979).

Корни растений для анализа микоризной инфекции высушивались, а затем окрашивались по методике И. А. Селиванова (1981): мацерация в 15 % растворе КОН – 30 мин., окраска раствором анилинблау (0,1 г анилиновой сини + 50 г молочной кислоты + 100 г воды) – 20 мин; дифференциация окраски в молочной кислоте – 20 мин. Затем корни помещались на предметное стекло в 50 % раствор глицерина. При микроскопическом исследовании было просмотрено 100 полей зрения корней каждого вида. В каждом поле зрения проставлялся балл, который отражает обилие гриба (табл. 1).

Таблица 1

Критерии степени микотрофности растений (Селиванов, 1975)

Обилие гриба	Балл
Вся кора занята грибом в форме гиф, клубков гиф, везикул, арбускул или продуктов их переваривания	5
75 % клеток коры заняты грибом, а в остальных клетках гриба нет	4
Половина клеток мезодермы занята грибом, половина- без гриба	3
25% клеток коры заполнена эндифитом	2
Эндифитный гриб есть в единичных клетках	1
Эндифитных грибов в корне нет	0

При изучении микотрофности растений определялись (по результатам обилия):

- Частота встречаемости микоризной инфекции (F) $F = n * 100 / N$, где n – число полей зрения с обнаруженным грибом, а N – общее число просмотренных полей зрения; вычисляется в процентах;

- *Степень микотрофности растений (D)* $D=S/N$, где S – сумма баллов, проставленных при изучения полей зрения, а N – общее число полей зрения; вычисляется в баллах;

- *Интенсивность микоризной инфекции (C)*

$C=\sum(n_1 + 2n_2 + 3n_3 + 4n_4 + 5n_5)*100/NK$, где n – это количество полей зрения с соответствующим баллом (1,2 и т. д.), N – общее число полей зрения, K – высший балл шкалы учета; вычисляется в процентах;

- *Средняя интенсивность микоризной инфекции (Q)* вычисляется как среднее арифметическое от соответствующих интенсивностей

В зависимости от степени микотрофности И. А. Селиванов и В. Ф. Шавкунова (1973) предлагают условно делить растения на три группы: высокомикотрофные – со степенью микотрофности 3,6–5,0; среднемикотрофные – 1,8–3,5; слабомикотрофные – 0,1–1,7.

На золоотвалах НТГРЭС исследовалась микотрофность 40 видов высших растений – по 20 видов на золоотвалах № 2 и № 3 (табл. 3).

Таблица 5. Показатели микосимбиотрофизма золоотвалов
Нижнетуринской ГРЭС

№	Количественный показатель	з/о №1	з/о № 2	з/о № 3
1	Количество исследованных видов	20	20	20
2	Количество микотрофных видов (всего)	10	11	20
	- слабомикотрофные	10	11	19
	- среднемикотрофные	0	0	1
	- высокомикотрофные	0	0	0
3	Количество немикотрофных видов	10	9	0

4	Средняя частота встречаемости	13,9	13,3	62,2
5	Средняя степень микотрофности	0,153	0,154	0,826
6	Коэффициент интенсивности микоризной инфекции	10,65	9,625	34,36

Анализируя таблицу 5, необходимо сказать, что более «молодой» золоотвал № 3 отличается более высокими показателями микотрофности. Наблюдается: более высокая частота встречаемости микоризной инфекции, более высокая степень микотрофности, более высокий коэффициент интенсивности микоризной инфекции. Это связано с меньшей сформированностью условий субстрата на более молодом золоотвале: растениями ощущается нехватка подвижных соединений. Большая микотрофность фитоценозов на «чистой» золе подтверждается рядом авторов (Селиванов, 1981; Логинова, Селиванов, 1968; Лукина, 1997, Махнев, Чибрик, Трубина и др., 2002).

Известно, что в становлении симбиотических отношений высших растений с грибами существенную роль играют биоэкологические особенности микосимбионтов. Исследованием микосимбиотрофизма злаков (Селиванов, Утемова, 1970) установлено, что ксерофиты, мезофиты и гигрофиты в разной степени микотрофны. Проведенные анализы степени микотрофности в зависимости от экологических групп (рис. 3) показал, что на золоотвале № 2 наиболее микотрофны мезоксерофиты (0,265), менее микотрофны мезофиты (0,164), ниже всех степень микотрофности у ксеромезофитов (0,06). На золоотвале № 3 несколько иная картина: наиболее микотрофны оказались мезофиты (0,948), менее выражена микотрофность у мезогигрофитов (0,655) и галофитов (0,68), самая низкая степень микотрофности выявилась у мезоксерофитов (0,48)

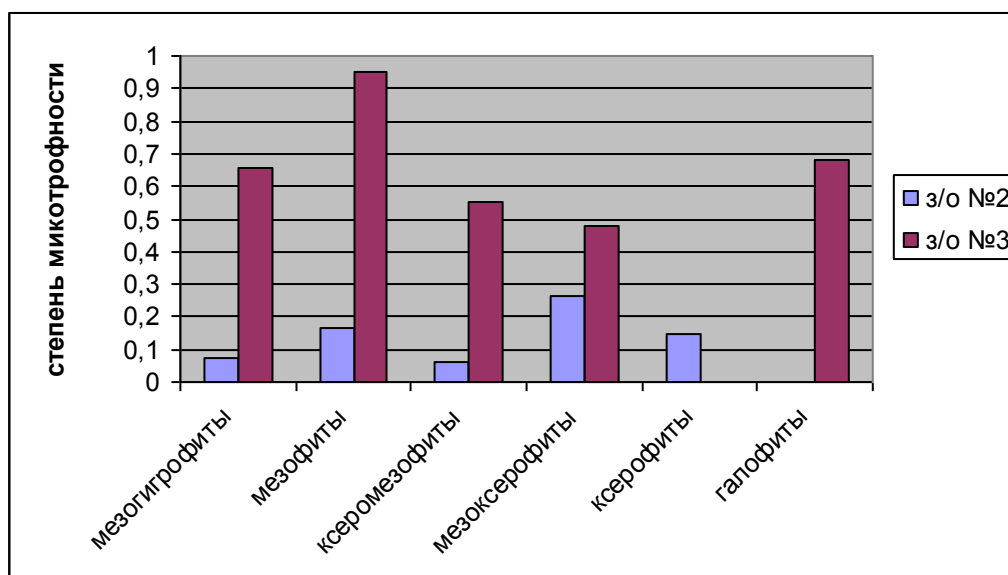


Рис. 3. Микотрофность растений в соответствии с биоэкологическими особенностями

ВОССТАНОВЛЕНИЕ БИОРАЗНООБРАЗИЯ НА ЗОЛОТВАЛАХ

НТГРЭС

Данная работа выполнена на трёх разновозрастных золоотвалах Нижнетуринской ГРЭС (НТГРЭС) с использованием общепринятых методик (Корчагин, 1964). Золоотвал №1 имеет возраст 45 лет, территория его рекультивирована; золоотвал №2 (35 лет) так же рекультивирован; золоотвал №3 (15 лет) не рекультивирован. При геоботаническом описании использовались учётные площади $10 \times 10 \text{ м}^2$. Всего было сделано 12 описаний (3 – на отвале №1, 6 – на отвале №2 и 3 – на отвале №3).

Для оценки биоразнообразия были использованы следующие индексы:

1. Индекс видового богатства Маргалефа $I_{\text{Mar}} = (S-1)/\ln(N)$;
2. Индекс разнообразия Шеннона $I_{\text{Sh}} = -\sum p_i \cdot \ln(p_i)$;
3. Индекс разнообразия Животовского $I_{\text{Zh}} = (\sum p_i)^2$;
4. Индекс доминирования Симпсона $I_{\text{Si}} = \sum p_i^2$;
5. Индекс доминирования Бергера-Паркера $d_{\text{B-P}} = N_{\text{max}}/N$, или обратное значение $1/d$;
6. Индекс Макинтоша $I_{\text{Mac}} = \sqrt{\sum p_i^2}$; модифицированный индекс $I = (N-U)/(N-\sqrt{N})$, дополнительная мера выравнивания Пielу $I = (N-U)/(N-N/\sqrt{S})$; где p_i – относительное обилие i -того вида, N – количество особей всех видов, N_{max} – количество особей самого обильного вида, S – количество видов (Мэгарран, 1992; Зайцев, 1991)..

Индексы вычислялись на основе значений обилия (по шкале Друде в пересчёте на экспертную оценку) видов и проективного покрытия (в %). Проверка нулевой гипотезы производилась при помощи непараметрического критерия Краскелла-Уоллеса ($H(df, N)$, p , где H – значение критерия, df – количество степеней свободы, N – число вариантов, p – достигнутый уровень значимости критерия).

Цель работы: охарактеризовать показатели фиторазнообразия по отношению к золоотвалам разного возраста.

В результате проведённого исследования установлено, что значения индексов разнообразия отличаются при вычислении их на основе данных обилия и проективного покрытия видов (табл. 6). С увеличением возраста золоотвалов показатели фиторазнообразия так же повышаются (рисунки 4-11). Необходимо сказать, что достаточный уровень значимости критерия ($p < 0.05$) отмечен чаще при сравнении значений индексов фиторазнообразия на основе данных обилия.

Таблица 6. Значения индексов разнообразия на золоотвалах НТГРЭС

	Золоотвал №1	Золоотвал №2	Золоотвал №3	Критерий Краскелла- Уоллеса (df=2, N=12)
Инд. Шеннона	5.75±1.19*	4.76±0.24	3.84±0.16	3.92
	2.08±0.32	1.88±0.11	1.56±0.05	2.26
Инд. Симпсона	11.74±0.56	9.67±1.03	4.98±0.84	6.06**
	0.72±0.03	0.40±0.09	0.57±0.18	3.31
Инд. Животовского	16.07±1.07	13.12±1.08	7.71±0.92	7.61**
	1.74±0.12	1.31±0.12	1.42±0.25	1.92
Инд. Макинтоша	3.42±0.08	3.09±0.17	2.22±0.19	6.06**
	0.84±0.01	0.58±0.06	0.72±0.10	5.65
Инд. Пиелу	1.25±0.01	1.27±0.01	1.36±0.01	6.57**
	1.25±0.01	1.27±0.01	1.36±0.01	6.57**
Инд. Бергера- Паркера	0.30±0.08	0.17±0.03	0.27±0.03	5.04

	0.34±0.09	0.19±0.03	0.39±0.05	5.97
Инд.	2.96±0.24	3.10±0.30	1.87±0.06	6.27**
Маргалефа	3.06±0.26	3.24±0.34	2.02±0.04	6.23

* - верхние значения – с учётом обилия видов, нижние – проективного покрытия,

** - уровень значимости критерия $p < 0.05$.

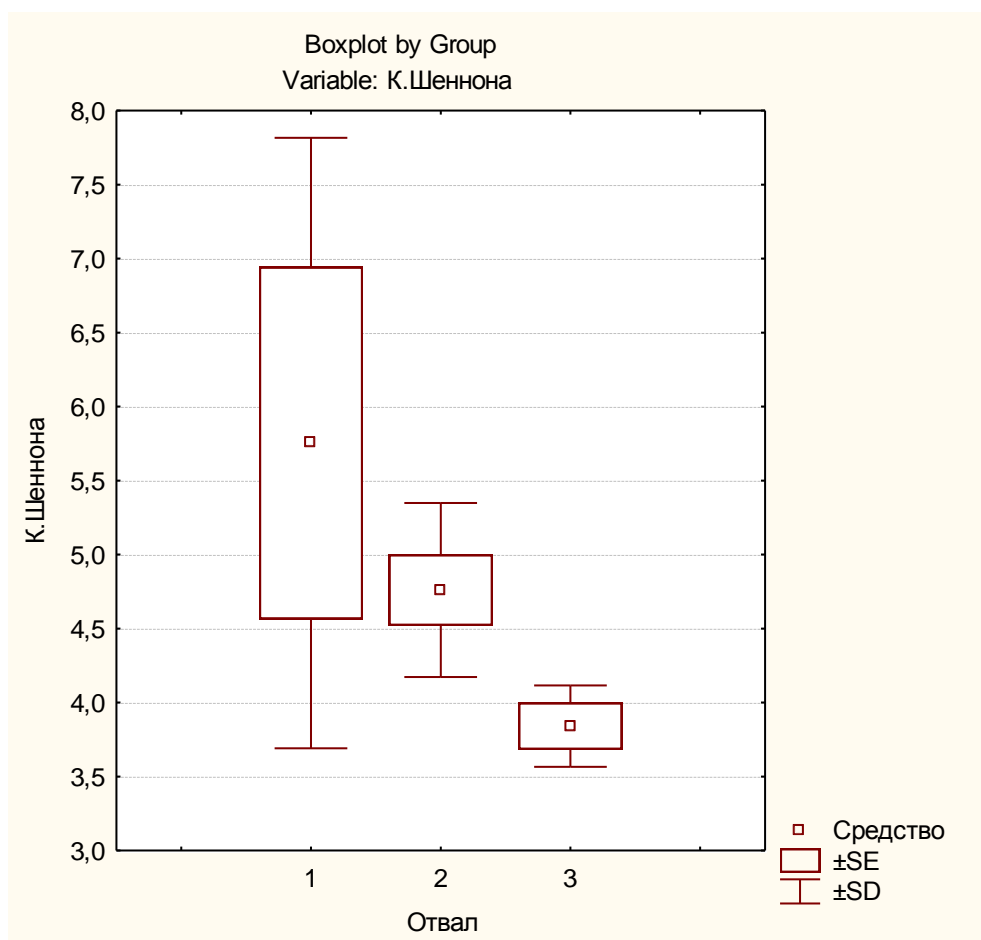


Рис. 4. Изменение коэффициента Шеннона на разновозрастных золоотвалах НТГРЭС (данные обилия)

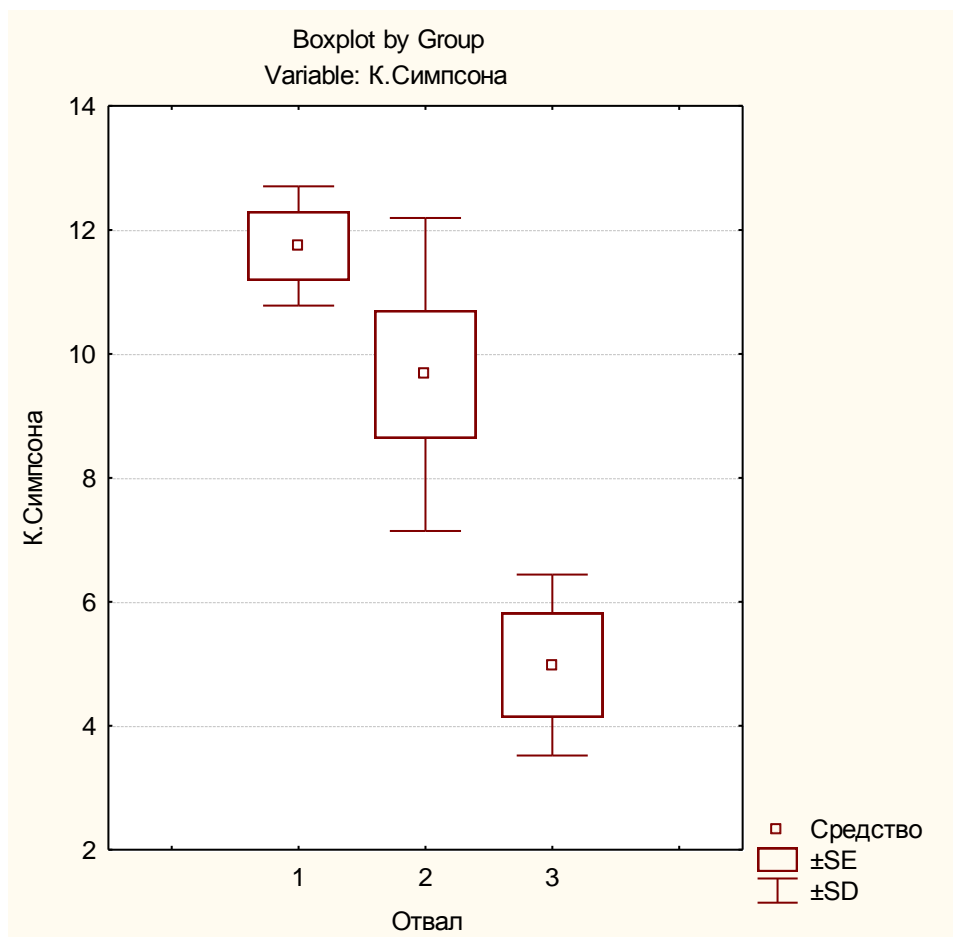


Рис. 5. Изменение коэффициента Симпсона на разновозрастных золоотвалах НТГРЭС (данные обилия)

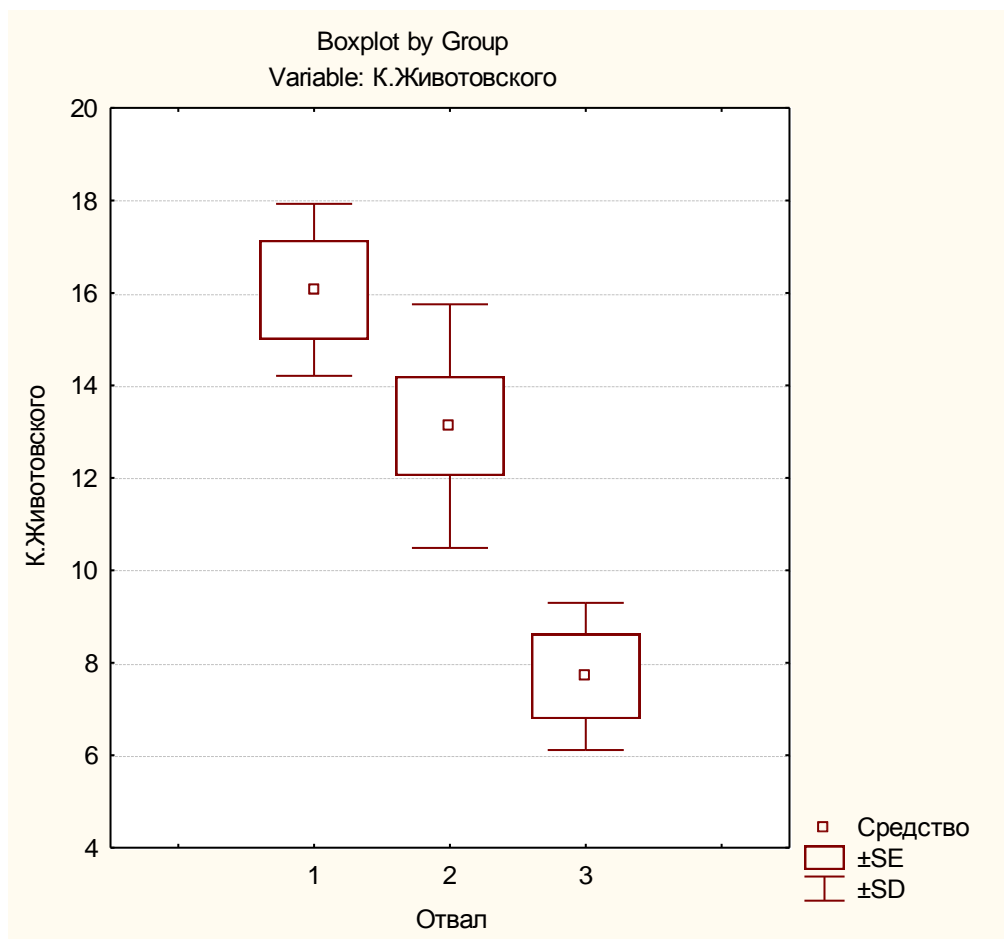


Рис. 6. Изменение коэффициента Животовского на разновозрастных золоотвалах НТГРЭС (данные обилия)

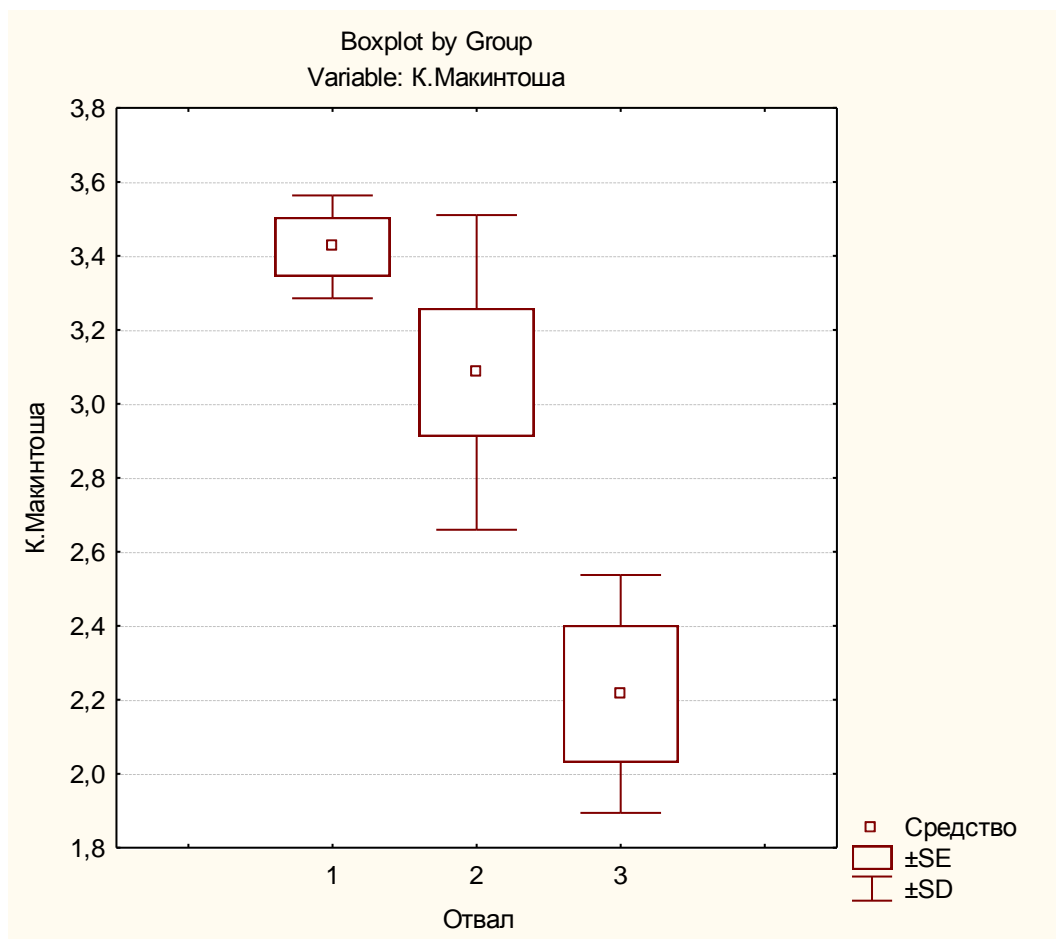


Рис. 7. Изменение коэффициента Макинтоша на разновозрастных золоотвалах НТГРЭС (данные обилия)

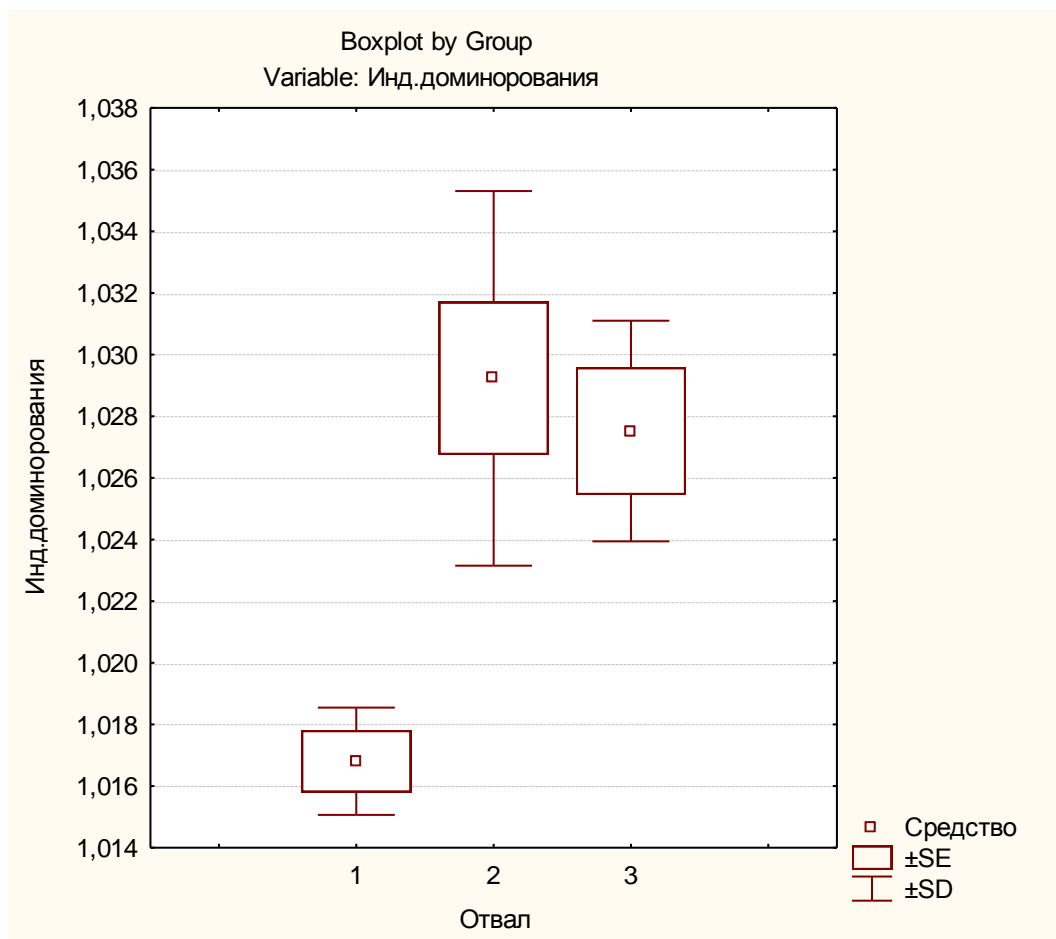


Рис. 8. Изменение индекса доминирования на разновозрастных золоотвалах НТГРЭС (данные обилия)

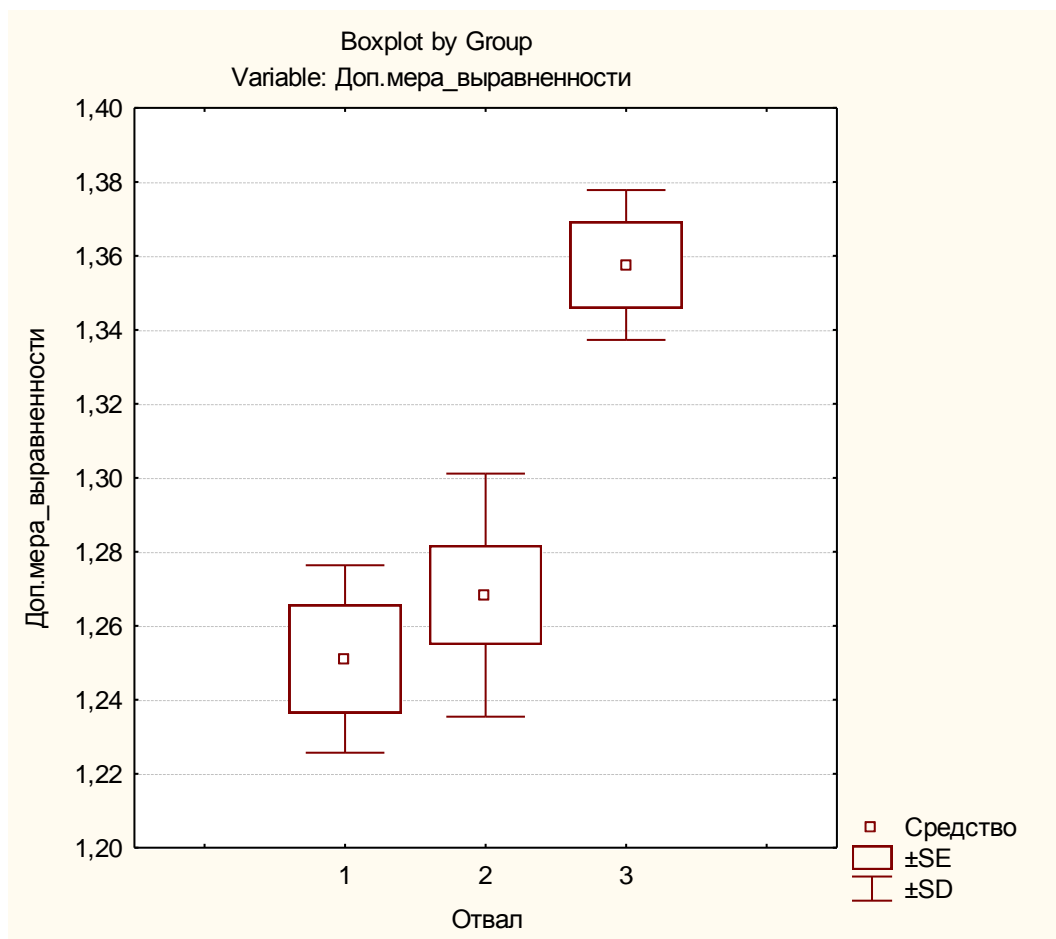


Рис. 9. Изменение дополнительной меры выравнинности на разновозрастных золоотвалах НТГРЭС (данные обилия)

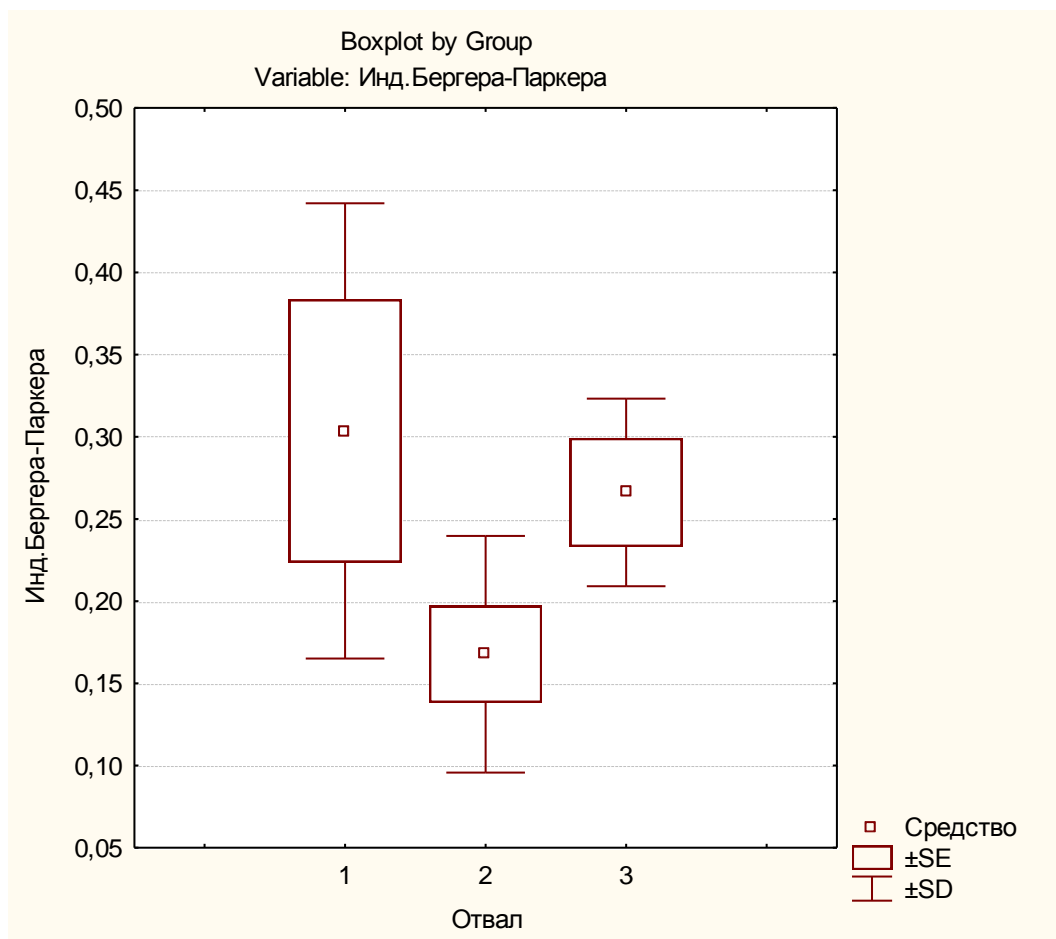


Рис. 10. Изменение индекса Бергера-Паркера на разновозрастных золоотвалах НТГРЭС (данные обилия)

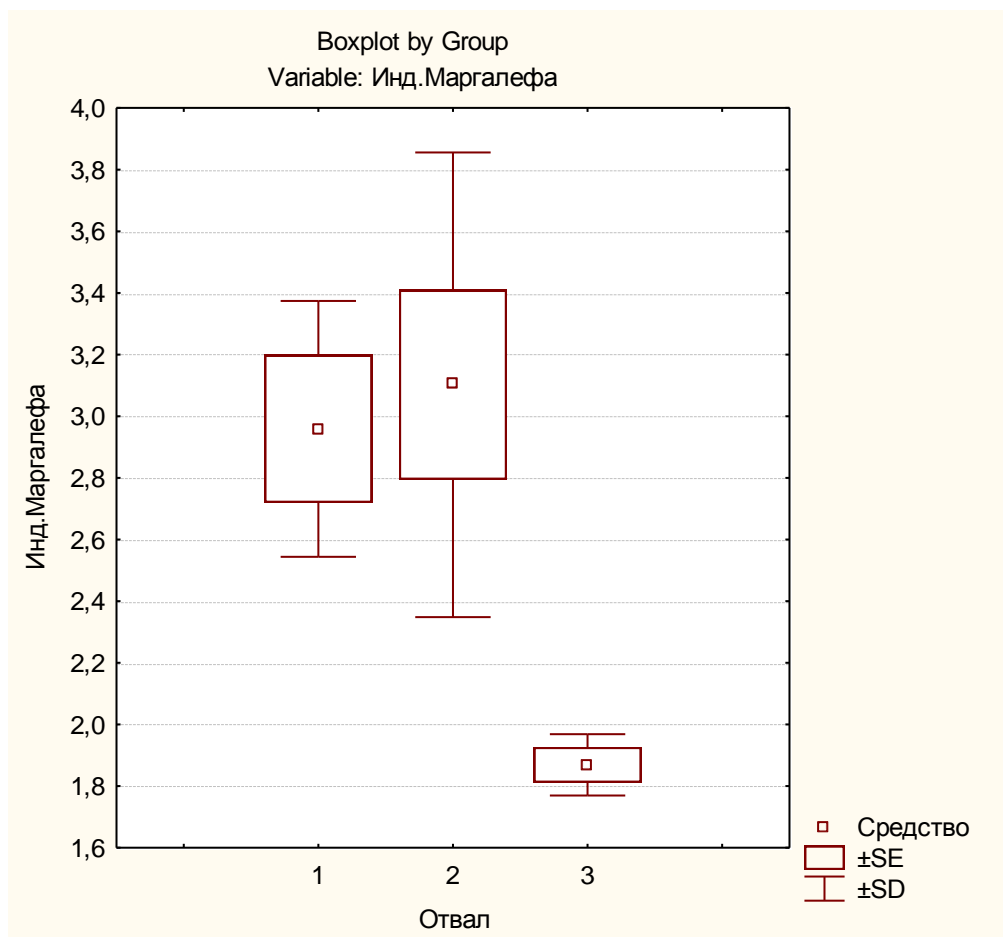


Рис. 11. Изменение индекса Маргалефа на разновозрастных золоотвалах НТГРЭС (данные обилия)

Изменение индексов разнообразия говорит об изменении фиторазнообразия с течением времени. Золоотвал возрастом 45 лет, с течением времени приобретает новые виды растений, которые способны существовать на том субстрате, который изменился из-за совместного действия живых и неживых организмов.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОСУЩЕСТВЛЕНИЮ РЕКУЛЬТИВАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ТЕРРИТОРИЙ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТВАЛОВ

Принимая во внимание все предпосылки создания устойчивых сообществ на территориях промышленных отвалов, а также месторождений полезных ископаемых, следует заметить, что горно-технический и биологический этапы рекультивации весьма затратные. Это объясняется недостатком плодородного и потенциально-плодородного субстрата, климатическими особенностями территорий. Тем не менее, биологическая рекультивация на сегодня остаётся самым дешёвым способом консервации техногенных новообразований.

На подготовительном этапе работ по биологической рекультивации рекомендуется наиболее комплексно оценить территории, которые будут использоваться в качестве полигона для каких либо работ. Следует сравнить уже существующие техногенные образования с естественными территориями. Комплексная оценка должна предполагать обследование экосистем с точки зрения их определения как сложных живых систем, состоящих из живой и неживой компонент с учётом климатического фактора. Причём именно живая компонента представляется наиболее сложно-организованной. На данном этапе в том числе закладываются параметры мониторинга будущих экосистем.

Горно-технический этап рекультивации проводится для того, чтобы спланировать территорию таким образом, при котором минимизируется перенос вещества в окружающие экосистемы. Применительно к золоотвалам тепловых электростанций это окружение дамбами и нанесение потенциально плодородного слоя грунта. Причём, как показал опыт рекультивационных мероприятий на золоотвале Верхнетагильской ГРЭС, для покрытия субстрата (зола) достаточно не сплошного слоя грунта, а полос грунта в 10-14 см – полосы имеют ширину 7-10 м с пустым межполосным пространством такой же ширины (Махнёв, Чибрик, Трубина и др., 2002). Полосы располагаются параллельно друг другу и перпендикулярно господствующим направлениям

ветра. Как показал опыт, такое расположение хорошо закрепляет поверхность и позволяет растительности достаточно быстро заселить территорию.

Биологический этап рекультивации проводится с учётом целей рекультивации в конкретном месте – высаживаются те растения, которые определяют облик будущих экосистем. Для создания лесных систем основная составляющая экосистем – это различные древесные породы (сосна). При создании луговых фитоценозов применяются травосмеси злаков и бобовых, которые совместно создают фитомассу и обогащают субстрат элементами питания.

По краям территорий отвалов рекомендуется формировать лесные насаждения, чтобы уменьшить ветровую эрозию и создать свой микроклимат.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные на втором этапе работ по Гос. контракту №П826 результаты служат для оценки характеристик автотрофного блока золоотвалов тепловых электростанций, работающих на высокосольном угле.

Химическая характеристика субстратов позволяет определить какие элементы питания находятся в недостаточном количестве для внесения минеральных удобрений. При наличии токсичных элементов появляется возможность предотвратить их влияние на растительность.

Ценопопуляционный анализ позволяет отследить состояние популяций интересующих видов. На первых этапах существования отвалов (на ранних стадиях формирования растительного покрова) важное значение принимают вегетативно подвижные злаки, виды способные давать сравнительно большую биомассу. Такие растения закрепляют субстрат, предотвращая пыление. Дополнение ценопопуляционных исследований изучением микотрофности позволяет выделить тенденции существования микоризных ассоциаций, которые помогают растениям переживать неблагоприятные водно-физические условия несформированных почвенных слоёв.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурова Л. Г. Формирование группировок микоризообразователей – макромицетов в географическом аспекте / Л. Г. Бурова // Микориза и другие формы консортивных связей в природе. Пермь, 1987. с. 68-76;
2. Голубинская Н. С. Получение арбускулярно-везикулярной микоризы в лабораторных условиях / Н. С. Голубинская // Микориза растений.- Пермь, 1979.- С.15-24;
3. Диагнозы и ключи возрастных состояний луговых растений. Однодольные злаки: Метод разработки для студентов биол. специальностей / Под ред. Т.И. Серебряковой – М.: Изд-во МГПИ им. Ленина, 1980. – 104 с.
4. Зайцев Г.Н. Математический анализ экспериментальных данных / Г.Н. Зайцев.- М.: Наука,1991. 184 с.
5. Катенин А. Е. Микориза растений северо-востока Европейской части СССР / А. Е. Катенин - Л., 1972. с.20-140;
6. Колесников Б. П. Некоторые результаты работы лаборатории промышленной ботаники Уральского Университета по фитомелиорации промышленных отвалов / Б. П. Колесников, Г. М. Пикалова // Рекультивация в Сибири и на Урале. Новосибирск: Наука, 1970. с. 36–58;
7. Комар И. В. Обмен веществ "природа-общество-природа" и некоторые вопросы его оптимизации / И. В. Комар // Изв. АН СССР, сер. Географич., 1969.- №5. с. 59-78;
8. Корчагин А.А. Видовой (флористический) состав растительных сообществ и методы его изучения / А.А. Корчагин // Полевая геоботаника – М.; Л.: Наука, 1964 – Т. 3.
9. Крюгер Л. В.. К биологии и экологии эндотрофных микориз / Л. В. Крюгер, И. А. Селиванов // Вопросы биологии и экологии доминантов и эдификаторов растительных сообществ. Пермь, 1968. с. 196-202;
10. Логинова В. Г. Характеристика микотрофности растений в некоторых типах сосновых боров Центрального Предуралья / В. Г. Логинова, И. А.

Селиванов // Вопросы биологии и экологии доминантов и эдификаторов растительных сообществ. Пермь, 1968, с. 41-50;

11. Лукина Н. В. Микосимбиотрофизм фитоценозов золоотвалов / Н. В. Лукина // Экологические исследования на Урале: Сб. науч. тр. Екатеринбург: УрГУ, 1997. с. 109-120;

12. Махнёв А. К. Экологические основы и методы биологической рекультивации золоотвалов тепловых электростанций на Урале / А. К. Махнев, Т. С. Чибрик, М. Р. Трубина, Н. В. Лукина и др. - Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 356 с.;

13. Мэгарран Э. Экологическое разнообразие и его измерение / Э. Мэгарран.- М.: «Мир», 1992. 181 с.

14. Панин П. С. Химические и водно- физические свойства золоотвалов Новосибирской ТЭЦ / П. С. Панин, Р. В. Ковалев // Рекультивация в Сибири и на Урале. Новосибирск: "Наука", 1970. с. 45-60;

15. Пикалова Г. М. Некоторые особенности биологии костра безостого, регнерии волокнистой и люцерны синегибридной при выращивании на каменноугольной золе: Автореф.дис. ...канд. Биол. Наук / Г. М. Пикалова; Свердловск, 1968. 54 с.;

16. Работнов Т.А. Фитоценология / Т.А. Работнов // М.: Изд-во Моск. Ун-та, 1983 – 296 с.

17. Раков Е.А. К вопросу формирования флоры на нарушенных промышленностью землях / Е.А. Раков, Т.С. Чибрик // Экология, №6.- 2009.- С. 473-476.

18. Селиванов И. А. Микосимбиотрофизм как форма консортивных связей в растительном покрове Советского Союза: учеб. пособие для вузов / И. А. Селиванов - М., 1981.- 230 с.;

19. Селиванов И. А. Микотрофность растений во флоре и растительном покрове горы Ирмель / И. А. Селиванов, В. Ф. Шавкунова // Учен. зап. Перм. гос. пед. ин-та. Пермь, 1973. с. 72-93;

20. Селиванов И. А. Характеристика микотрофизма злаков в зависимости от их биоморфологических особенностей и условий произрастания / И. А. Селиванов, Л. Д. Утемова // Ученые записки Перм. гос. пед. ин-та.- Пермь, 1970.- С. 28-39;
21. Сентябова Т. А. Интенсивность микоризообразования у сеянцев ели в зависимости от условий выращивания / Т. А. Сентябова // Микориза и другие формы консортивных связей в природе. Пермь, 1987. с. 38-46;
22. Сигалов Б. Я. Закрепление золы каменноугольных отвалов многолетними травами / Б. Я. Сигалов // Бот. Журнал, № 3, 1958 с. 56-71;
23. Тарчевский В. В. Промышленные отвалы и их освоение / В. В. Тарчевский // Охрана природы на Урале: Растительность и промышленные загрязнения. Свердловск, 1964. Вып. 4. с. 67–80;
24. Тарчевский В. В. Содержание железа и алюминия в растениях, выращенных на специфических субстратах / В. В. Тарчевский, Ф. Д. Дробиз // Микроэлементы в биосфере и их применение в сельском хозяйстве и медицине Сибири и Дальнего Востока. Омск, 1969. с. 56-78;
25. Уранов А.А. Возрастной спектр фитоценопопуляций как функция времени и энергетических волновых процессов / А.А. Уранов // Биол. науки. – М.: Наука, 1975. - №2. – С. 7-34.
26. Фирсова В. П. Физико-химические и микробиологические свойства золы отвалов тепловых электростанций Свердловской области / В. П. Фирсова, Г. А. Кулай // Растительность и промышленные загрязнения: Охрана природы на Урале. Свердловск, 1966. Вып. 5. 80-94;
27. Хамидулина М. В. Биология развития злаковых трав на шлаконаливном поле Нижнетуринской ГРЭС / М. В. Хамидулина // Растительность и промышленные загрязнения: Охрана природы на Урале. Свердловск, 1964. с. 109 – 115;

28. Хамидулина М. В. Консевация поверхности золоотвала Южно-Кузбасской ГРЭС / М. В. Хамидулина // Растительность и промышленные загрязнения: Охрана природы на Урале. Свердловск, 1970. Вып. 7. с. 45-58;

29. Чайкина Г.М. Рукультивация нарушенных земель в горнорудных районах Урала / Г.М. Чайкина, В.А. Обедкова.- Екатеринбург: УрО РАН,- 2003.- 270 с.